

05;12

## Метод измерения статических и импульсных давлений с применением электропроводящих резин

© Дж.Н. Анели, В.П. Кортхонджия, М.М. Болоташвили

Институт механики машин АН Грузии, Тбилиси

E-mail: georgeng@ip.osgf.ge

Поступило в Редакцию 14 января 2003 г.

В окончательной редакции 17 марта 2003 г.

Предложен метод измерения статических и импульсных давлений с применением электропроводящих резин (ЭР). Основой метода является изменение удельного объемного электрического сопротивления ЭР при воздействии внешнего давления. Изменение сопротивления ЭР при ее сжатии пропорционально воздействию внешнего давления и фиксируется мостовой схемой. Предложенный метод позволяет оценить степень однородности распределения силы давления по заданной поверхности твердого материала, если эта поверхность будет покрыта датчиками, изготовленными на основе ЭР.

В настоящее время существует много различных методов измерения давлений как в статическом, так и в динамическом режимах (механические, электрические, магнитные и др. [1]). Однако, как правило, все они требуют применения довольно сложной аппаратуры. Широко распространенные в измерительной технике тензодатчики на основе металлических сплавов [2] при всех их достоинствах обладают одним общим недостатком — сравнительно низким коэффициентом тензочувствительности (в пределах 2–2.5), ограничивающим диапазон их практического применения. Кроме того, металлические тензодатчики характеризуются низкой коррозионной стойкостью при их использовании в агрессивной среде. Тензодатчики на основе пьезокристаллов, предназначенные для измерения статических и импульсных давлений [3], несмотря на их высокую чувствительность, обладают одним существенным недостатком — при измерении импульсного (с длительностью импульсов в пределах милли- и микросекунд) давления, приложенного к одной из граней пьезокристалла, сила давления образует звуковую волну,

которая после прохождения кристалла отражается от противоположной грани и возвращается обратно. Это приводит к сильному искажению полезного сигнала из-за наложения входящих и отраженных волн. Поэтому в большинстве случаев для нормального измерения силы давления используют вспомогательное устройство, что связано с рядом технических затруднений. Измерение давления вообще посредством пьезокристаллов требует высококвалифицированную работу с применением специальных устройств.

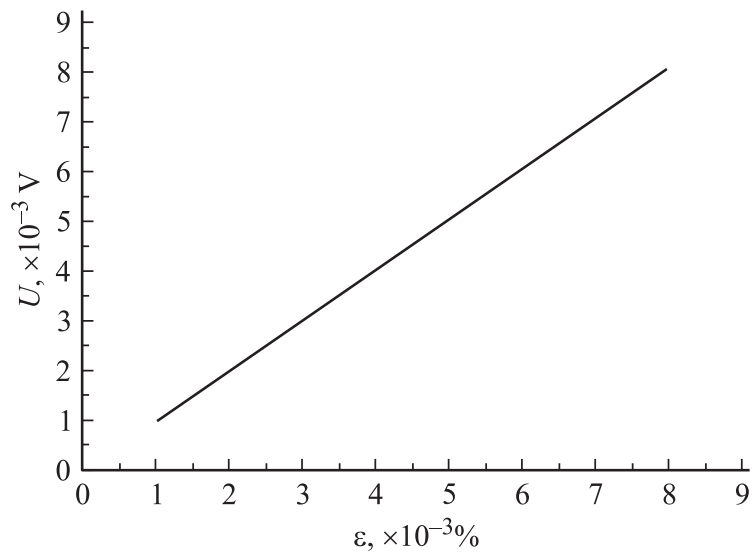
Известно [4], что диэлектрическая резина при содержании электропроводящего наполнителя (технический углерод, графит, металлические порошки) свыше определенного (соответствующего так называемому перколяционному фазовому переходу типа диэлектрик—проводник [5]) количества становится электропроводящей. По мере увеличения содержания этого наполнителя проводимость резины увеличивается до предельного значения. Электропроводящая резина (ЭР), как правило, чувствительна к деформациям. Уровень чувствительности ЭР можно регулировать как путем подбора типа и содержания составляющих компонентов, так и физическими воздействиями при формировании структуры материала [6].

В настоящей работе предложен метод измерения статических и импульсных давлений на основе применения ЭР.

В эксперименте были использованы ЭР, полученные нами на основе силиконового каучука (полидиметилвинилсилоксан) марки СКТВ, наполненного техническим углеродом марки МПЭ-100В. Путем подбора концентрации наполнителя и условий вулканизации были получены резины со следующими характеристиками:

Удельное объемное электрическое сопротивление $\rho_v$ , $\Omega \cdot \text{см}$ . . . . .	0.5–5
Температурный коэффициент сопротивления, $\text{град}^{-1}$ . . . . .	0.004
Коэффициент тензочувствительности . . . . .	2–40
Механический модуль упругости, МПа . . . . .	2–6
Ползучесть, % . . . . .	0.8–1
Диапазон измеряемых деформаций, % . . . . .	$10^{-5}$ – $10^{-2}$

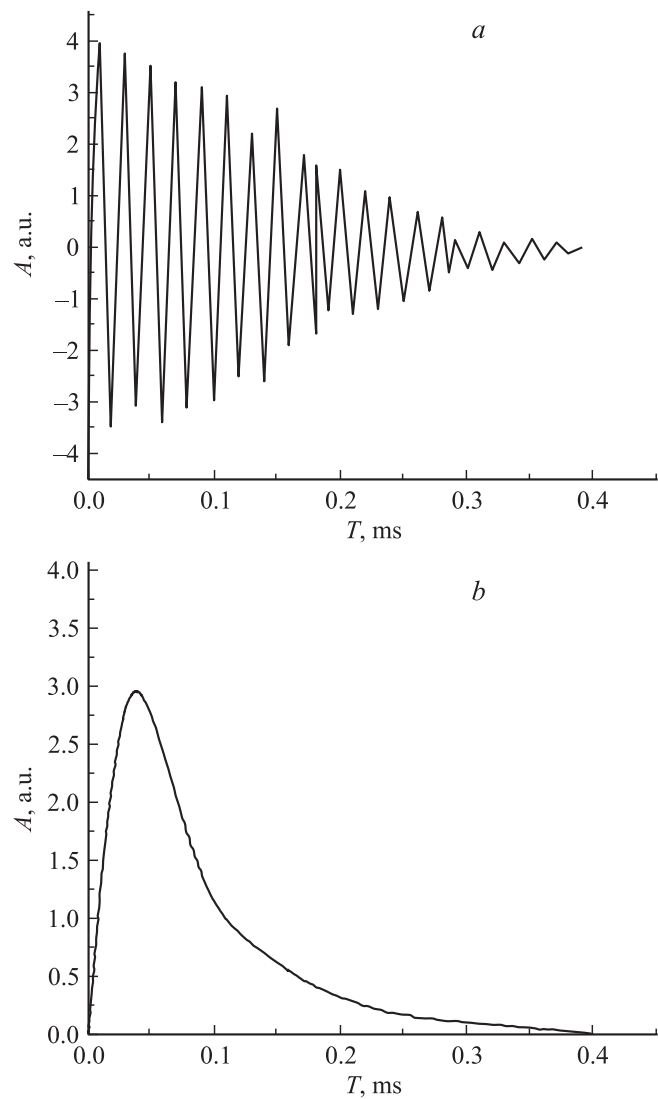
Следует отметить, что тестируемые образцы ЭР характеризуются низким уровнем шумов и остаточных явлений при циклических нагрузках.



**Рис. 1.** Зависимость выходного напряжения от деформации датчика на основе ЭР ( $\rho_y = 4.2 \Omega \cdot \text{cm}$ ).

На основе отмеченных резин были изготовлены образцы в виде дисков с диаметром 10–20 mm и толщиной до 2 mm. С обеих сторон диски покрывались тончайшим металлическим слоем путем вакуумного напыления. Диски помещались на отшлифованную поверхность плоской металлической плиты, а сверху этих дисков укладывались медные пластинчатые диски с такими же размерами, как и у резиновых дисков. Приготовленные таким образом тензочувствительные элементы подключались к мостовой измерительной схеме. Деформацию датчиков осуществляли посредством звуковой волны, сила давления которого вызывала изменение электрического сопротивления резины. Это изменение приводит к изменению падения напряжения на этом же сопротивлении (пропорционально величине деформации) и, следовательно, к появлению сигнала на экране осциллографа.

Согласно рис. 1, зависимость изменения выходного напряжения от механической нагрузки датчика на основе ЭР имеет линейный характер, что является весьма важной характеристикой сенсорных элементов.



**Рис. 2.** Осциллограммы амплитуд импульсов давления, снятых с типового пьезодатчика (*a*) и датчика на основе ЭР (*b*).

С целью оценки эффективности измерения импульсного давления посредством ЭР были проведены сопоставительные эксперименты с применением пьезодатчиков серийного производства. Были сняты осциллограммы, отражающие изменения амплитуды импульса давления со временем (рис. 2).

Как видно из рис. 2, сигнал, снятый с резинового датчика, монотонно падает с течением времени, а сигнал, снятый с пьезодатчика, теряется в хаосе искажающих сигналов. В результате проведения серийных опытов было установлено, что максимум кривой, соответствующей осциллограмме сигнала от резинового датчика, прямо пропорционален силе давления, произведенного ударной волной.

Тензодатчики на основе ЭР позволяют проводить широкомасштабные исследования по определению степени равномерности распределения силы давления по плоской поверхности. С этой целью плоскую поверхность с определенной геометрией и площадью покрывают тензодатчиками на основе ЭР. При этом токоподводы датчиков предварительно подключают к измерительной схеме (например, к аналого-цифровому преобразователю с применением компьютера). Величина сигналов, снятых от отдельных датчиков, будет соответствовать величине силы давления, действующего на отдельные участки поверхности. Совокупность сигналов, снятых от этих датчиков, дает возможность установить закономерность распределения силы давления по всей поверхности.

## **Список литературы**

- [1] *Туричин А.М.* Электрические измерения неэлектрических величин. М.: Энергия, 1966.
- [2] *Почтовик Г.Я., Злочевский А.Б.* Методы и средства испытания строительных конструкций. М.: Высш. школа, 1973.
- [3] *Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций.* Т. 1. М.: Изд. АН СССР, 1958.
- [4] *Гуль В.Е., Шенфиль Л.З.* Электропроводящие полимерные композиции. М.: Химия, 1984.
- [5] *Шкловский Ф.Л., Эфрос М.Е.* Физика легированных полупроводников. М.: Наука, 1976.
- [6] *Aneli J.N., Khananashvili L.M., Zaikov G.E.* Structuring and Conductivity of Polymer Composites. Nova Sci. Publ. New York, 1998.